



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

آزمون میز لرزان بر روی یک ایستگاه چند طبقه مترو زیر حرکات شبیه پالس زمین

چکیده:

یک سری از آزمون های میز لرزان انجام شد تا تاثیر حرکات شبیه پالس زمین بر روی یک ایستگاه چند طبقه مترو مورد بررسی قرار گیرد. داده های پاسخ دینامیک، شامل نیروهای درونی، رانش ستون، و ته نشینی و تغییر شکل خاک، جمع آوری شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که حرکات شبیه پالس زمین افزایش دهنده پاسخ دینامیک ایستگاه مترو و نیز خاک اطراف آن است به علت آنکه دارای مولفه ذاتی غنی با فرکانس پایین و انرژی بالا است. از نظر ساختار، ستونهای مرکزی، بخصوص آنهایی که بر سطح طبقات با ارتفاعات بالا قرار گرفته اند، مولفه های آسیب پذیری هستند از ایستگاه چند طبقه مترو. هم فشار دینامیک زمین و هم حالت تغییر شکل دیوار جانبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کلمات کلیدی: آزمون میز لرزان، ایستگاه چند طبقه مترو، حرکات شبیه پالس سطح زمین، پاسخهای دینامیک

۱- مقدمه

با توسعه سریع اقتصادی و اجتماعی در چین، حمل نقل مدرن زیر زمینی، یا همان مترو، به طور مداوم توسعه میابد تا ساختاری چند سطحی و عمیق تر داشته باشد. ایستگاه هواپهای رود در خط سیزده متروی شانگهای، به عنوان مثال، یک ایستگاه شش طبقه با سکوی جزیره ای است که دارای ارتفاعی در حدود ۳۰ متر است و دیوارهای دیافراگم است که ۷۱ متر عمق دارند. (۱) احتمال رخداد مشکلات بیشتری برای ساختار عمیق تری که دارای لایه های متعدد است و نیز یک طبقه با ارتفاع بالاتر، وجود دارد. اول، فشار آب و زمین که بر دیوارهای جانبی وارد می شود با افزایش عمق، بیشتر می شود. دوم، به علت انباشتگی باری که از بالا به پایین منتقل شده است، نسبت فشار محوری ستونهای مرکزی افزایش میابد. سوم، پیکر بندی ساختاری متمایل است به پیچیده تر بودن به طریقی که بتواند چندین نوع کارکرد را تامین کند، که باعث افزایش تعداد نقاط راکد آسیب پذیر می شود. در پایان، یک طبقه

با ارتفاع بالا، سفتی جانبی ستونهای مرکزی و دیوارهای جانبی را افزایش می دهد. از این رو، عملکرد لرزه ای چنین ساختار زیر زمینی ارزش توجه کردن دارد.

در سالهای اخیر، آزمون های میز لرزان و سانترفیوژ برای ایستگاههای مترو مورد اجرا قرار گرفته اند به این منظور که عملکرد لرزه ای و مکانیسم عدم موفقیت ساختارهای زیر زمینی مورد بررسی قرار بگیرند. (۲-۵) نتایج نشان می دهند که ساختارهای مترو ممکن است آسیبهای جدی و شدیدی در زمان زمین لرزه رنج ببینند. به صورت عمومی این باور وجود دارد که آزمون سانترفیوژ یک راه جذاب برای بررسی عملکرد لرزه ای است و علت این مساله در اینست که این آزمون دارای این توانایی است که حالت تنش درونی خاک را کاهش دهند. تحقیقاتی انجام گرفته است با استفاده از سانترفیوژ و نتایج خوبی بدست آمد (۷و۶) به علاوه، میز لرزان با باریک بینی مورد بارگیری، کنترل و مشاهده قرار گرفت. (۸) از این رو، آزمون میز لرزان هم چنین یک روش معمول است برای مطالعه عملکرد لرزه ای ساختارهای مترو (۹و۱۰) این تحقیقات یاری فراوانی رسانده اند تا تعامل خاک و سازه و یا پاسخهای سازه ها و ساختارها را بفهمیم.

در تحقیقات مربوط به روبنا، مشخص شد که حرکات شبیه پالس زمین ممکن است آسیبهای جدی تری را در قیاس با دیگر حرکات زمین بر سازه ها وارد کنند. حرکات شبیه پالس زمین تعریف می شوند به صورت حرکاتی از زمین که PGV/PGA مربوط به آنها (نسبت حداکثر سرعت زمین به اوج شتاب زمین) بیشتر از ۰,۲ است در حالیکه حرکت معمولی زمین دارای نسبتی کوچکتر از ۰,۱۵ است (۱۱) اگر گسست در جهت ایستگاه مورد مطالعه منتشر شود، امواج با تناوب بالا که به صورت منسجم حرکت می کنند سرعت بالای زمین ایجاد می کنند و جا به جایی های عظیمی در این نتیجه در جهت گسل نرمال رخ می دهد. (۱۲) و بیشتر انرژی لرزه ای در حرکت زمین بر روی پالس متمرکز است. (۱۳) تحقیقات بسیاری تاکید کرده اند تاثیرات حرکات شبیه به پالس سطح زمین را بر روی روبنا. برترو و دیگران (۱۴) نشان دادند که حرکات شبیه به پالس زمین می تواند یک پاسخ بشدت قوی در ساختمانهای با پایه ثابت ایجاد می کند. اندرسون و برترو (۱۵) در تحقیقشان در مورد پاسخ دینامیک غیر خطی برای یک چهارچوب فولادی چند طبقه، مشخص کردند که طبقات پایین تر ساختمان با چنین ساختاری، صدمه

سنگینی را می بیند اگر در معرض حرکات شبیه به پالس زمین قرار بگیرد. مارکیز و بلاک (۱۶) دریافتند که پالسهای موضعی و قابل تشخیص شتاب باعث ایجاد خواست های غیر معمول در سازه ها می شوند. صحتی و دیگران (۱۷) بیان کردند که حرکات شبیه به پالس زمین یک شکل پذیری بزرگتری را در قیاس با حرکات زمین عادی بر سازه وارد می کند. علاوه بر این، تحقیقات انجام شده بر تاثیر حرکات شبیه به پالس زمین بر روی سازه های مجرد و پل ها انجام شده است (۱۸-۲۲) در ارتباط با سازه های مترویی، چن و وی (۲۳) تاثیر حرکات شبیه به پالس سطح زمین را بر روی تونل ها در دل کوهها مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که پالسهای سرعت، مهم ترین عامل تعیین کننده آسیب بر آستر درونی تونل ها است. هرچند، از منظر و لحاظ فرم سازه، ایستگاه مترو دارای ساختار قاب دار است. از این رو، ایستگاه مترو و تونل از نظر خصلتهای مکانیکی و نوسانی با هم متفاوتند. علاوه بر این، پیکر بندی سازه قاب دار بار استاتیک را مانند آستر مدور، به صورت موثر منتقل نمی کند. در نتیجه، تکانه با انرژی بالا برای حرکات شبیه به پالس زمین یک تهدید جدی بر قسمتهای ساختاری یک سازه قاب دار وارد می کند و با آسیب زدن به نقاط آسیب پذیر نایافته و حتی کل سازه می شود. علاوه بر این، تکانه می تواند باعث افزایش تغییر شکل برشی شدید خاک شود و بنابراین باعث رانش طبقه ایستگاه بشود و منجر به آسیب بیشتر گردد.

در این مقاله، آزمون های میز لرزان بر روی ایستگاه چند طبقه مترو تحت تاثیر حرکات شبیه به پالس زمین انجام شد. بر اساس پاسخ الاستیک ایستگاه مترو زیر حرکات مختلف زمین، تاثیرات حرکت شبیه به پالس سطح زمین بر روی نیروی درونی و تغییر شکل اجزای سازه مورد بحث قرار می گیرد. فشار دینامیک زمین و الگوهای تغییر شکل دیوار جانبی مورد بازبینی قرار گرفتند. علاوه بر این، عملکرد لرزه ای ایستگاه عمیق مترو تحت تاثیر لایه های مختلف حرکت زمین مورد بررسی قرار گرفت.

۲. راه اندازی آزمایشی

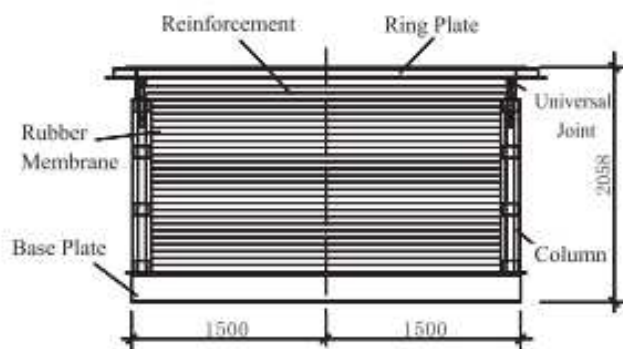
۲.۱ جدول تکان دادن

آزمون میز لرزان، انجام شد به وسیله استفاده از ابزار میز لرزان شرکت MTS در آزمایشگاه کلیدی دولت برای کاهش فجایع در مهندسی عمران دانشگاه تانجی. می توان در جدول حرکات سه بعدی و دارای شش درجه آزادی

وارد کرد. ابعاد جدول، ۴ متر در ۴ متر است. محدود فرکانس کار از ۰,۱ تا ۵۰ هرتز است. جدول با دو حداکثر شتاب افقی ۱,۲ و ۰,۸ g و حداکثر شتاب عمودی ۰,۷ g به لرزه در می آید.

۲,۲ مدل ظرف خاک

برای حداقل سازی اثر جعبه ای، یک ظرف منعطف در آزمون مورد استفاده قرار گرفت. ظرف استوانه ای خاک دارای قطری به اندازه ۳۰۰۰ میلی متر بود (شکل یک را ببینید). غشای لاستیکی جانبی آن به ضخامت ۵ میلی متر بود و میلگردهای تقویتی با قطر ۴ میلی متر و فاصله ۶۰ میلی متر برای تقویت خارج از جعبه مورد استفاده قرار گرفت. غشا به وسیله چندین پیچ با یک صفحه حلقه بالا و یک صفحه پایه متصل شد. یک میله پیچ با ارتفاع قابل تنظیم نصب شد تا استوانه را در حالت مناسب تنظیم کند. یک مفصل چرخنده بر روی بالای ستونها قرار گرفت، که صفحه حلقه بالا را حمایت می کردند، تا اجازه بدهد صفحه حلقه تغییر شکل جانبی بیابد. برای حداقل سازی لغزش نسبی بین خاک و ظرف بر روی سطح پایه، سنگ های خرد شده به ورق فولاد پایه متصل شد تا سطح را زیر تر سازد. در لیست منابع (۲۴) لو و دیگران سه آزمون آزاد تکان دادن میدانی جدول انجام دادند تا اثر مرزی ظرف منعطف را مورد بررسی قرار دهند، که همین مورد در اینجا هم مورد استفاده قرار گرفت. آنها خاطر نشان کردند که اثر مرزی می تواند نادیده گرفته شود در زمانی که فاصله بین سازه و مرز بیش از ۶۰۰ میلی متر باشد. فاصله در آزمونهای این تحقیق بیش از ۱,۲ متر بودند. از این رو اثر مرزی بر روی پاسخهای دینامیک سازه می تواند نادیده گرفته شود.



شکل ۱ - دیاگرام شماتیک از ظرف خاک

۲,۳ سنسور و سیستم اکتساب داده ها

برای مطالعه در مورد پاسخ دینامیک سازه مدل و تعامل دینامیک سازه- خاک، ما از شتاب سنج، کرنش سنج، متر جابجایی، متر جا به جایی لیزری و فشار سنج خاک بهره بردیم. کرنش سنج یک FLA-3-11 بود که توسط شرکت ژاپنی TML تولید شده بود. قسمت پشتیبان ارزیابی اپوکسی با قطر ۰,۰۳ میلی متر ساخته شده بود که طول، عرض، طول پشتیبان و عرض پشتیبان آن به ترتیب ۰,۳، ۱,۴، ۳ و ۲ میلی متر بود. متر جا به جایی لیزری یک CP08MHT80 بود که توسط شرکت آلمانی ونگلور تولید شده بود و دارای ابعاد ۵۰ میلی متر، در ۵۰ میلی متر در ۲۰ میلی متر بود و محدوده اندازه گیری آن ۵۰ میلی متر، و وضوحی بهتر از $8 \mu\text{m}$ و زمان پاسخی کمتر از $660 \mu\text{s}$ داشت. فشار سنج خاک دارای قطر بیرونی ۳۰ میلی متر و ظرفیت 200 kPa، و دقت 0.5٪ از مقیاس کامل بود. سیستم کسب اطلاعات با ۱۲۸ کانال توسط شرکت MTS تولید شد و سرعت نمونه برداری در آزمون برابر بود با 512 Hz. طراحی آزمون

۳. طراحی تست

3-1 طراحی نمونه اولیه

طراحی نمونه اولیه از ساختار مدل، یک ایستگاه مترو با ارتفاع ۲۸,۳ متر است: ایستگاه به صورت اولیه به شکل ایستگاه پلت فرم جزیره شش طبقه طراحی شد و در ادامه به علت نیاز برای پارکینگ، اولین تا سومین طبقه مترو به صورت یک لایه ترکیب شدند تا به عنوان گاراژ استریو مورد استفاده قرار بگیرند. طبقه دوم، طبقه لابی است، طبقه سوم، ابزار آلات را در خود جای می دهد. طبقه چهارم نیز پلت فرم جزیره است. طول کلی ایستگاه ۱۵۵ متر است و عرض آن از ۲۳,۶ تا ۲۸,۳۵ متر متغیر است. سازه اولیه از بتن مسلح بود. بتن درجه c45 برای ستونهای مرکزی و c35 برای بقیه بخشهای ایستگاه مورد استفاده قرار گرفتند (۲۵). از میلگرد فولاد HRB400 در ستونهای مرکزی و HRB335 برای بقیه قسمتها استفاده شد. (۲۵)

عوامل مقیاس سازه مدل در جدول ۱ آورده شده اند. بر طبق نظریه همسانی، سه جنبه شبیه سازی تعامل سازه- خاک باید در ابتدای امر مورد توجه قرار بگیرند: تشابه هندسی، فیزیکی و مکانیکی. به دلیل تفاوت ها بین ابعاد ایستگاه مدرن مترو و گونه معمول، طراحی عوامل مقیاس باید بر اساس اندازه و ظرفیت تحمل میز لرزان،

اندازه ظرف، اثر مرزی، و راحتی تولید مدل انجام بپذیرد. طول عامل مقیاس بر روی ۰,۰۲ تنظیم شده است. شکل ۲، ابعاد سازه مدل را نشان می دهد. بر این اساس ، عوامل مقیاس جابجایی و مساحت می توانند تعیین شوند. در آزمون میز لرزان ، شیشه ارگانیک به عنوان سازه مدل انتخاب شد به دلیل همگن بودن مناسب، قدرت بالا و ضریب ارتجاعی پایین آن، که سبب می شود انعطاف برای طراحی عامل مقیاس. این ماده، همچنین مناسب است برای داشتن تولیدی دقیق و صحیح. بنابراین، ضریب ارتجاعی و عوامل مقیاس چگالی می توانند تعیین شوند بر اساس آزمونهای ماده بر روی شیشه ارگانیک.

پس از آنکه در مورد عامل مقیاس برای هندسه، ضریب ارتجاعی و چگالی تصمیم گرفته شد، عوامل مقیاس در میان کمیت‌های فیزیکی می توانند بدست آیند با استفاده از قانون π باکینگهام (۲۶):

جدول ۱ عوامل مقیاس برای سازه مدل ۱:

گونه	کمیت فیزیکی	عامل مقیاس
خواص هندسی	طول	۰,۰۲۰
	جا به جایی خطی	۰,۰۲۰
	جا به جایی زاویه ای	۱,۰۰۰
	مساحت	$4.00 * 10^{-4}$
خواص مواد	ضریب ارتجاعی	۰,۱۰۶
	چگالی معادل	۱۷۶۵
	فشار	۰,۱۰۶
	کشش	۱,۰۰۰
	نسبت پواسون	۱,۰۰۰
بارگیری	نیرو	$4.24 * 10^{-5}$
	بار خطی	$2.12 * 10^{-3}$
	بار سطح	۰,۱۰۶
	لحظه ای	$8.48 * 10^{-7}$
خواص دینامیک	جرم	$1.41 * 10^{-5}$
	سفتی	$2.12 * 10^{-3}$
	استمرار	$8.16 * 10^{-2}$
	فرکانس	خوانا نیست

سرعت	۱۲,۲۵۳
شتاب	۳,۰۰۳

$$\begin{cases} S_{\sigma} = S_E \\ S_t = S_I S_{\rho}^{\frac{1}{2}} / S_E^{\frac{1}{2}} \\ S_v = S_E^{\frac{1}{2}} / S_{\rho}^{\frac{1}{2}} \\ S_a = S_E / S_I S_{\rho} \end{cases} \quad (1)$$

جایی که S_{σ} ، S_a ، S_v ، S_I ، S_t ، S_E به ترتیب از مقیاس تنش، عامل مقیاس مدول الاستیک، ضریب مقیاس زمان، ضریب مقیاس هندسی، ضریب سرعت و فاکتور مقیاس شتاب استفاده می‌کند.

با توجه به شبیه سازی عددی آزمون جدول لرزش در ایستگاه مترو [۲۷]، خطایی که هنگام استفاده از فرضیه کرنش صفحه وارد می‌شود، نمی‌توان نادیده گرفت که فاصله بین صفحه مشاهده و انتهای مدل برابر با عرض سازه است. عرض ساختار مدل و جداسازی ستون به ترتیب ۰,۴۷ و ۰,۱۶ متر است و طول طولی ساختار مدل به این ترتیب ۱,۱ متر تعیین می‌شود. یک دیافراگم به طور عمده به عنوان یک عضو خمشی رفتار می‌کند، همانطور که با توجه به نتایج یک مطالعه قبلی، ستون مرکزی نیز انجام می‌شود [۲۸]. علاوه بر این، ساختار مدل بر اساس اصل شباهت سفتی خمشی برای معرفی عملکرد میله‌های فولادی طراحی شده است: [۲۸]:

$$S_k = S_{\sigma} S_I = \frac{E_p I_p / I_p^3}{E_m I_m / I_m^3} \quad (2)$$

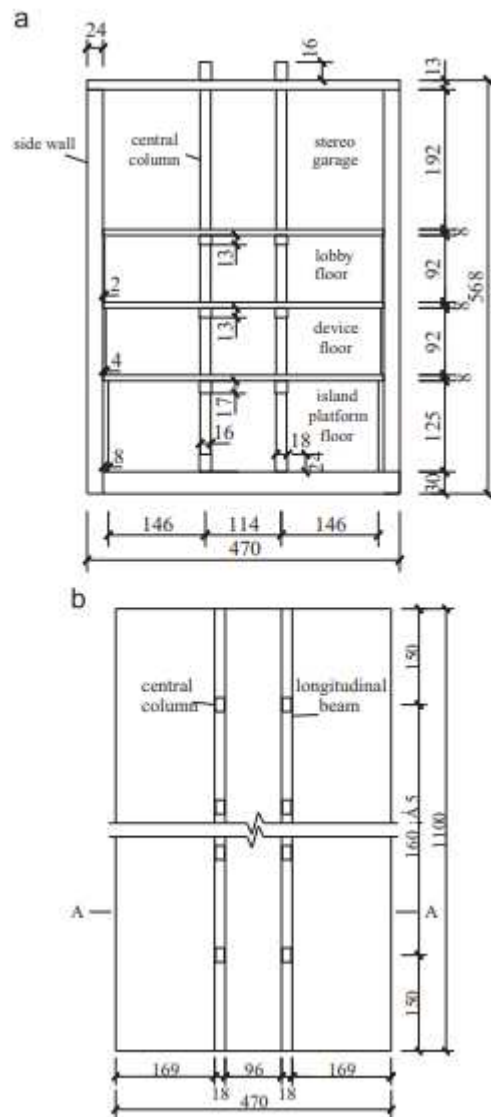
جاییکه S_k ؛ S_{σ} ؛ S_I به ترتیب نشان دهنده عامل مقیاس سفتی، عامل مقیاس ضریب فشار، و عامل مقیاس هندسی هستند. E_p ؛ I_p ؛ I به ترتیب نشان دهنده ضریب ارتجاعی نمونه اولیه، ممان اینرسی، و هندسه هستند. و E_m ؛ I_m ؛ I_m به ترتیب ضریب ارتجاعی، ممان اینرسی و هندسه مربوط به مدل هستند.

مدل خاک مصنوعی ترکیبی بود از ماسه و خاک اره. طبق آزمونهای اولیه، اضافه کردن خاک اره به ماسه می‌تواند کاهش دهنده چگالی ضریب برشی دینامیک باشد که تامین کننده نیازهای شباهتی است. استفاده از قانون π

باکینگهام، عوامل مقیاس هندسه، چگالی، ضریب برشی، و شتاب اینرسی به عنوان پارامترهای اساسی انتخاب شدند و بر اساس تمایل ما تنظیم شدند. (۲۶)

$$S_G / (S_I \cdot S_\rho) = S_a, \quad (3)$$

جاییکه $S_G ; S_I ; S_\rho ; S_a$ به ترتیب نشان دهنده نسبت ضریب برشی، نسبت هندسی، نسبت چگالی، و نسبت شتاب اینرسی هستند. عوامل مقیاس خاک در جدول ۲ نشان داده شده اند.



شکل ۲ - ابعاد سازه مدل الف- مقطع عرضی الف - الف ، ب- از منظر بالا

الف- ستون مرکزی، گاراژ استریو، طبقه لابی، طبقه ابزار و دستگاه، طبقه سکوی جزیره

ب- ستون مرکزی ، میله طولی

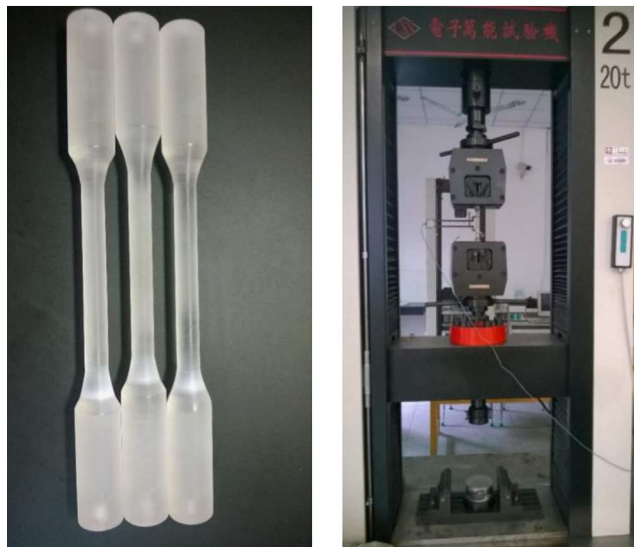
جدول ۲ :

عوامل مقیاس	علامت	عوامل مقیاس خاک کمیت فیزیکی
۰,۰۲۰	SG	ضریب برشی
۰,۰۲۰	SL	طول
۰,۳۳۳	S ρ	چگالی
۳,۰۰۳	S	شتاب

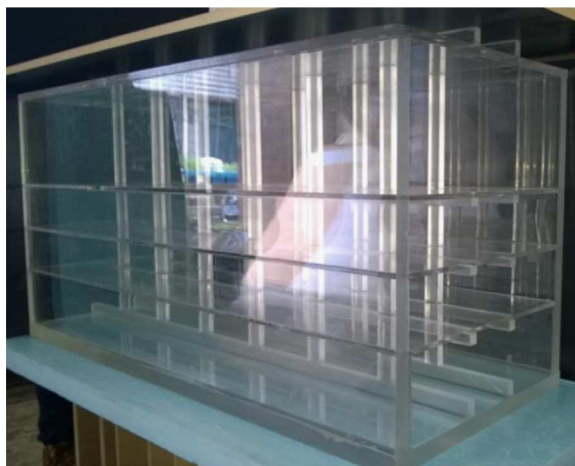
۳,۲ مواد و طراحی مدل

۳,۲,۱. سازه مدل

برای اندازه گیری ضریب ارتجاعی شیشه ارگانیک، آزمون مواد انجام پذیرفت همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است. ضریب ارتجاعی سه نمونه به ترتیب برابر با ۳,۶۰ ، ۳,۲۱ ، و ۳,۱۹ GPa بدست آمد. ارزش متوسط برابر بود با ۳,۳۳ MPa و عامل مقیاس مربوطه برای ضریب ارتجاعی برابر با ۰,۱۰۶ بدست آمد.



شکل ۳ : آزمون مواد بر روی شیشه ارگانیک



شکل ۴. الف : سازه مدل؛ و ب- طرح بندی جرم اضافه شده.

برای متناسب کردن عملکردهای میز لرزان ، و نیز برای حفظ عامل مقیاس شتاب و عامل مقیاس فرکانس در درون محدوده مناسب، جرمی به مجموع اضافه شد بدین منظور که نیازهای عامل مقیاس چگالی تامین شود. در زمانی که عامل مقیاس شتاب برابر است با ۳,۰۰ و نسبت فرکانس برابر است با ۱۲,۲۵۳ ؛ عامل مقیاس شتاب باید برابر باشد با ۱۷۶۵. در این حالت، جرم سازه مدل اصلی و اولیه برابر بود با ۸۸ کیلو گرم ولی باید طبق عامل مقیاس برابر می بود ۳۲۴ کیلو گرم و بنابراین ۲۳۶ کیلوگرم اضافی باید اضافه می شد. به علت چیدمان سنسورها، جرم حقیقی اضافه شده برابر بود با ۲۰۸ کیلوگرم، شکل ۴ طرح بندی جرم اضافه شده را نشان می دهد.

۳,۲,۲ خاک مدل

خاک نمونه اولیه، خاک معمولی ته نشین شده در شانگهای بود. برای انطباق با معادله عامل مقیاس، و مدنظر قرار دادن حداکثر ضریب برشی دینامیک $G_d = G_d \max$ ، و منحنی های γ_d و λ ، مناسب ترین نسبت جرم خاک اره به ماسه برابر بود با ۱:۲,۵، در جاییکه G_d ؛ $G_d \max$ ، λ ؛ γ_d اشاره داشتند به ترتیب به ضریب برشی دینامیک؛ حداکثر ضریب برشی دینامیک، و، نسبت تعدیل، و کشش برشی دینامیک. عامل مقیاس چگالی برابر بود با ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، عامل مقیاس چگالی برابر بود با ۰,۳۹، نسبت فشار محصور کننده برابر بود با ۰,۰۲، و ضریب بدست آمده برابر بود $1,81 \text{ MPa}$ (ضریب هدف: 1.72 MPa ، خطا: ۵,۲ درصد) $G_d = G_d \max$ و منحنی γ_d و منحنی λ بدست آمده در آزمون سه محور دینامیک در شکل ۵ آمده است.

در طول انجام آزمایش، خاک در حامل خاک به صورت لایه لایه قرار گرفت که فشرده سازی شد در حدی که به ضخامت ۲۰ سانتی متر رسید. قبل از انجام آزمون اصلی تکان دادن جدول، یک آزمون آزمایشی میز لرزان انجام شد تا تحلیل کند درجه فشرده سازی و ته نشینی، و نیز برای آنکه اطمینان حاصل شود که چگالی خاک در آزمون اصلی، صحیح و سازگار خواهد بود.

شکل ۵.

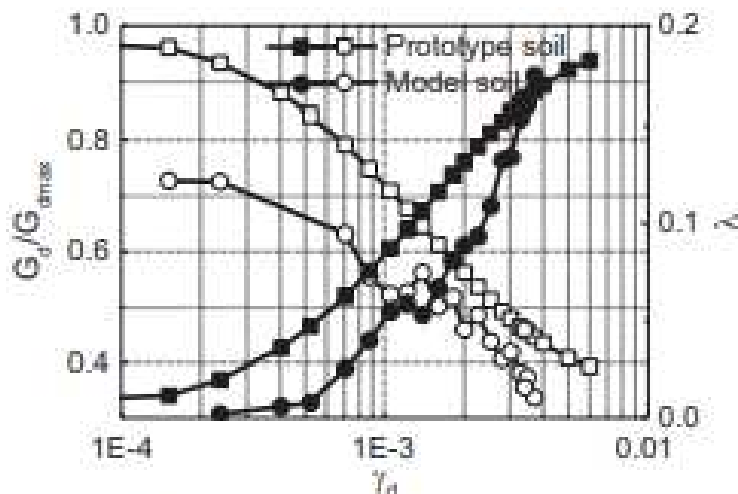


Fig. 5. Dynamic properties of the model soil.

شکل ۶. ظرف حامل خاک و صفحه مشاهده نشان می دهد. طرح بندی ۲۰ کرنش سنج، ۱۸ شتاب سنج، ۱۰ جا به جایی سنج، ۸ جابه جایی سنج لیزری، و ۱۰ فشار سنج خاک در خاک مدل و سازه مدل در اشکال ۷ و ۸ نشان داده شد. کرنش سنج ها مورد استفاده قرار گرفتند تا پاسخ دینامیک سازه را مورد بازبینی قرار دهند. شتاب سنجهای A3، A6، A9 و A12 جاسازی شدند تا قانون انتشار را در مورد موجهای لرزه ای خاک مورد تحقیق قرار دهند. و شتاب سنجهای A2، A5، A8 و A11 برای بررسی اثر سازه بر روی قانون انتشار، و شتاب سنجهای A10، A11 و A12 برای تعیین اعتبار اثر کرانه ای (مرزی) و نیز شتاب سنجهای A15-A18 برای ضبط پاسخ شتاب دینامیک برای هر طبقه مورد استفاده قرار گرفتند. مترهای جا به جایی جاگذاری شدند تا ته نشینی خاک و جا به جایی جانبی ظرف خاک را اندازه بگیرد. مترهای جابه جایی لیزری بر روی سطح بالایی هر طبقه قرار گرفتند و نیز لوله های مدور ساخته شده از شیشه های ارگانیک بر روی سطح پایینی قرار گرفتند. از این رو، مترهای جا به جایی، داده های مربوط به جا به جایی نسبی ستون مرکزی و دیوار جانبی را برای ما مهیا ساختند. فشار سنج خاک های P1-P8 چیده شدند تا کمک کنند فشار دینامیک زمین را پیدا کنیم و P9 و P10 مورد استفاده قرار گرفتند تا اندازه فشار دینامیک زمین سنجیده شود.

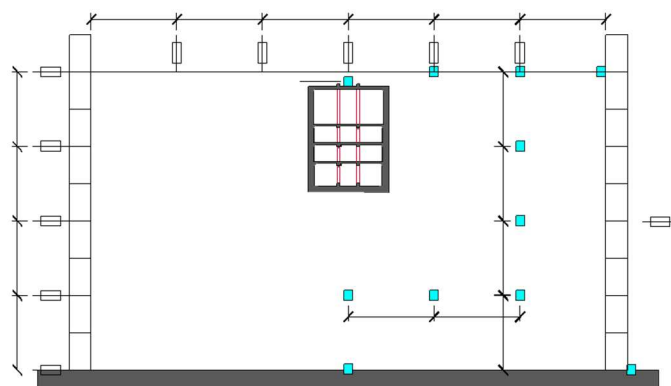


شکل ۶ الف ظرف خاک

ب- محل قرار گیری صفحه مشاهده

جعبه خاک

سازه مدل



شکل ۷ - طرح بندی شتاب سنجهای کارگذاری شده در خاک و مترهای جا به جایی

جدول ۳ ورودی حرکات زمین

داده ها	حرکات زمین	چی چی	ال سنتر
PGA (g)	۰,۱	۰,۱	۰,۱
PGV (m/s)	۰,۷۶۶	۰,۴۹۶	۰,۱۱۵
PGV/PGA (s)	۰,۷۶۶	۰,۴۹۶	۰,۱۱۵
Record sequence number	۱۸۰۳	۱۵۴۲	۱۷۲

۳,۴ - متد بارگیری و موارد آزمون

برای تحقیق کردن در مورد حرکت شبیه پالس زمین بر روی ایستگاه مترو، سه مورد پیشینه از داده های مرکز تحقیقات مهندسی زلزله پاسیفیک جمع آوری شد (۲۹) و اطلاعات در جدول ۳ نمایش داده شد. بخصوص، حرکت زمین ال سنتر، یک حرکت زمین عادی است در حالیکه حرکات هکتور ماین و چی چی، حرکات شبیه پالس زمین هستند. تعاریف مربوط به حرکات شبیه پالس زمین، با آنهایی که در تحقیقات آورده شده بود، سازگار بودند. (۳۰ و ۳۱) برای ارائه تعریف از مشخصات شبیه پالس مربوط به این حرکات به صورت صریح تر و واضح تر، نسبت بالاترین سرعت

زمین به بالاترین شتاب زمین (PGV/PGA) به عنوان شاخص انتخاب شدند. بر طبق تحقیقات (۱۱ و ۳۲) حرکت شبیه پالس زمین به عنوان حرکت زمینی تعریف می شوند که (PGV/PGA) مربوط به آنها از ۰,۲ بزرگتر است در حالیکه حرکت زمین عادی دارای نسبتی است کوچک تر از ۰,۱۵. اثر شبیه به پالس حرکت زمین هکتور ماین بزرگتر است از اثر شبیه به پالس چی چی. شکل ۹ سوابق زمان شتاب و طیف های فوریه مربوط به سه مورد پیشینه را نشان می دهد.

به منظور بازبینی فشار زمین دینامیک تحت تاثیر شدت های مختلف و انواع حرکات زمین، سه نوع حرکت زمین در چهار سطح (۰,۱، ۰,۲، ۰,۶، و ۱,۰ g) مقیاس گذاری شدند. نویز سفید مورد استفاده قرار گرفت تا تغییرات رخ داده در مدل را مشخص سازد و جدول ۴ این موارد را نشان می دهد.

۴ آزمون تعیین صحت و سقم

۴,۱ تقویت شتاب خاک

بر طبق نتایج آزمونها، حداکثر مقدار شتاب سنجهای A7, A8 و A9 تحت حرکات زمین ال سنترو (حداکثر شتاب برابر بود با ۰,۱g) به ترتیب برابر بود با ۰,۰۸۵ و ۰,۰۸۱ و ۰,۰۸۲. (شکل ۱۰ را ببینید) که نشان دهنده این است که تاثیرات اثر کرانه ای می توانند نادیده گرفته شوند.

شکل ۱۱ عوامل تقویت کننده حداکثر شتاب را برای عمق های متفاوت خاک با حداکثر شتابهای مختلف نشان می دهد. زیرا هیچ نشانه ای برای A12 وجود ندارد، آن با نشانه ای برای A11 به صورت موفقیت در شکل ۱۱ جا به جا شد. دیده شد که در زمانی که حداکثر شتاب ۰,۱g و 0.2g بود، عوامل تقویت کننده در نزدیکی به سطح زمین دارای مقادیر بزرگتری بودند. علاوه براین، عوامل تقویت کننده در هر عمقی که تحت حرکت شبیه به پالس زمین بودند دارای مقادیر بزرگتری بودند نسبت به آنهایی که تحت حرکت عادی زمین بودند. اگرچه، در حالتی که ۰,۶g داشتیم، عوامل تقویت کننده به طرز قابل توجهی دارای مقادیر کمتری بودند. هوانگ و دیگران (۳۳) در تحقیقشان در مورد پاسخ دینامیک خاک ته نشین شده در شانگهای، به این نکته پی بردند که خاک دارای خصلتهای کاهنده

است وقتی که حداکثر شتاب برای موج ورودی بزرگتر از $g_{0,3}$ باشد. در این مقاله، متدهای پیشنهاد شده توسط زقال و همکاران (۳۴) و نیز برنان و همکارن (۳۵) مورد استفاده قرار گرفت تا ضریب برشی و نیز نسبت‌های کاهنده مربوط به خاک را محاسبه کنیم. این مساله یافت شد که افزایش شتاب، کاهش قابل توجه ضریب برشی را بدنبال دارد که منجر می شود به اینکه فرکانس طبیعی بسیار متفاوت تر از فرکانس دامنه حرکت شود. این ممکن است باعث کاهش در عامل تقویت کننده شتاب خاک شود.

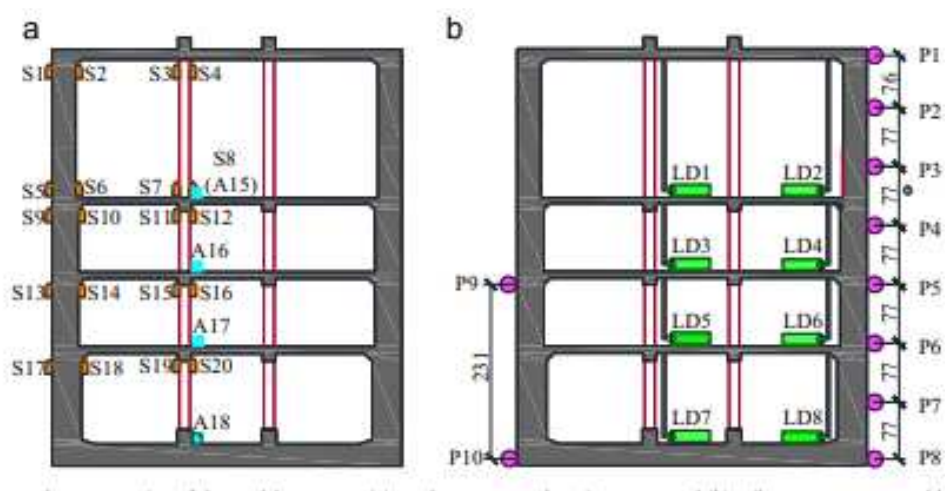
حداکثر شتاب سازه مدل در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. به صورت عمومی، سازه مدل که در خاک جا سازی شده بود، تحت تاثیر یک شتاب بزرگ شده قرار گرفت. شتاب های طبقات مختلف، به مقادیر مختلف بزرگ شدند. حداکثر شتاب های ثبت شده توسط A16 و A17 بسیار بیش از آنهایی بودند که توسط شتاب سنجها ثبت شده بودند. تاثیر انواع مختلف حرکات زمین بر روی حداکثر شتابهای سازه، واضح نبود.

۴,۲ جا به جایی جانبی و رسوب خاک

شکل ۱۳، حداکثر جابه جایی جانبی مربوط به ظرف خاک را تحت حرکات متفاوت زمین با حداکثر شتاب $g_{0,1}$ نشان می دهد. برای بهتر فهمیدن جا به جایی جانبی ظرف خاک تحت حرکات زمین، پیشینه زمانی نوعی برای متر جا به جایی D6 در شکل ۱۳ (ب) نمایش داده شد شکل ۱۳ (الف) تغییر شکل برشی را برای ظرف حاوی خاک نشان می دهد که تامین کننده تغییر شکل جانبی خاک است ، زیرا واسطه نیم -فضا نیمه نامحدود تحت تاثیر حرکت سطح زمینی در یک زلزله واقعی بود (۳۶) علاوه براین، از شکل های ۱۳ الف و ب این مساله درک می شود که تاثیر حرکت شبیه به پالس زمین بر روی تغییر شکل کلی خاک بسیار بزرگ تر از مورد مربوط به حرکن عادی زمین بود.

با ثبت حرکت شبیه به زمین هکتور ماین به عنوان یک مثال، شکل ۱۴ الف تغییر شکل آنی خاک را تحت حرکت زمین هکتور ماین در زمانی که حداکثر شتاب $g_{0,1}$ بود، نشان می دهد. در شکل ۱۴، علامت T طول مدت زمین لرزه را نشان می دهد. دیده شد که ظرف حاوی، دارای تغییر شکل برشی در طی مدت زمین لرزه بود. شکل ۱۴ حداکثر تغییر شکل خاک را تحت حرکت زمین هکتور ماین با حداکثر شتاب های متفاوت نشان می دهد. می توان

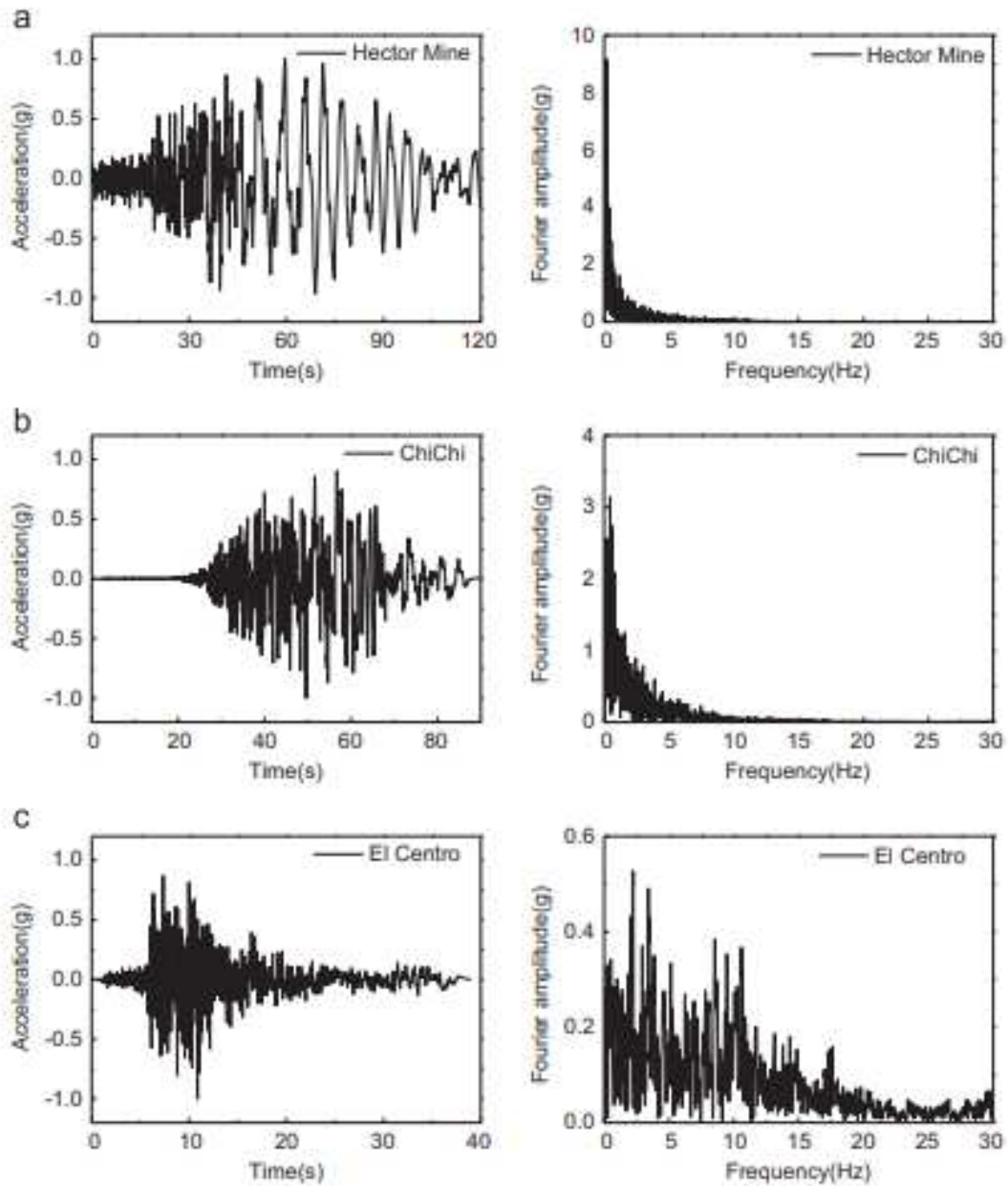
این نتیجه را گرفت که در نزدیکی سطح زمین، تغییر شکل ها بزرگتر بودند، بخصوص در زمانی که زمین لرزه قوی بود. علاوه بر این، به علت ارتفاع زیاد اولین طبقه مترو، این نوع از تغییر شکل می تواند مسبب آسیب بیشتری به ایستگاه مترو شود. در یک پروژه واقعی، چگالی خاک در نزدیکی سطح، کمتر است نسبت به عمق بیشتر، و تغییر شکل خاک در نزدیکی سطح زمین، به همین دلیل، می تواند حتی بیشتر هم بشود. در آزمون، رسوب بدیهی خاک، نشان دهنده تغییر قابل توجه در چگالی خاک است. که این مورد در نتایج آزمون تاثیر گذار است. شکل ۱۵ حداکثر رسوب خاک را در سه مورد ثبت شده دارای بیشترین شتاب خاک نشان می دهد.



شکل ۸ - طرح بندی سنسورها در برش مقطعی مربوط به سازه مدل

الف- شتاب سنجهای کرنش سنج

ب- فشار سنج خاک و جا به جایی سنج لیزری

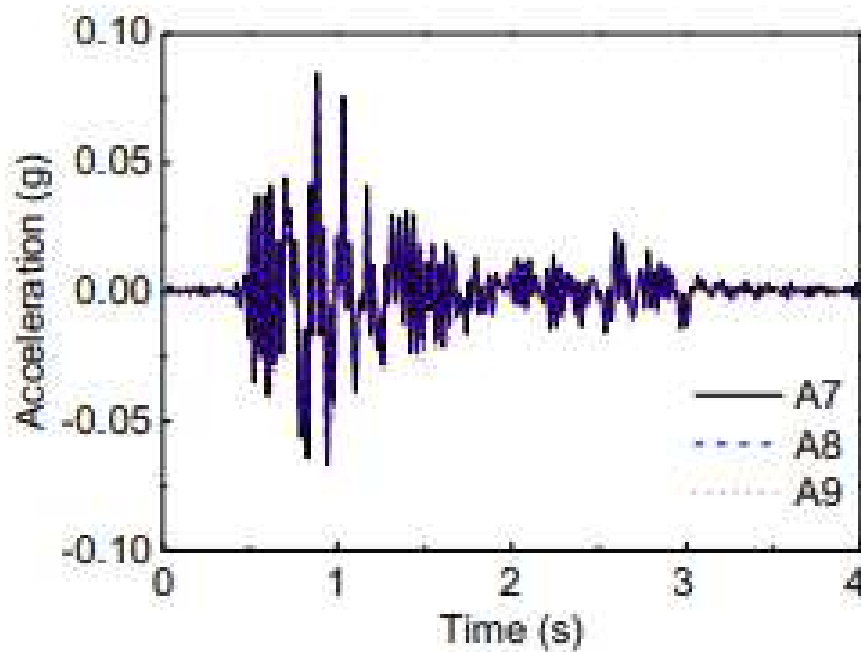


شکل ۹ - پیشینه شتاب-زمان و طیف فوریه برای حرکات زمین. الف (هکتور ماین)، ب چی چی و ج ال سنترو

جدول ۴ برنامه آزمون

توالی آزمون	شماره آزمون	حرکت سطح زمین	حداکثر شتاب g
۱	Wn-1	نویز سفید	۰,۰۷
۲	El-x0.1	ال سنترو	۰,۱۰
۳	Chi-x0.1	چی چی	۰,۱۰
۴	HM-x0.	هکتور ماین	۰,۱۰

۰,۰۷	ال سنترو	WN-2	5
۰,۲۰	نویز سفید	El-x0.2	6
۰,۲۰	چی چی	Chi-x0.2	7
۰,۲۰	هکتور ماین	HM-x0.2	8
۰,۰۷	نویز سفید	WN-3	9
۰,۶۰	ال سنترو	El-x0.6g	10
۰,۶۰	هکتور ماین	Chi-x0.6 g	11
۰,۶۰	چی چی	HM-x0.6	12
۰,۰۷	نویز سفید	WN-4	13
۱,۰۰	ال سنترو	El-x1.0 g	14
۱,۰۰	چی چی	Chi-x1.0 g	15
۱,۰۰	هکتور ماین	HM-x1.0	16



شکل ۱۰ - پیشینه زمانی مربوط به شتاب سنجهای A7، A8 و A9 تحت حرکت زمین ال سنترو با حداکثر شتاب

g. ۰,۱

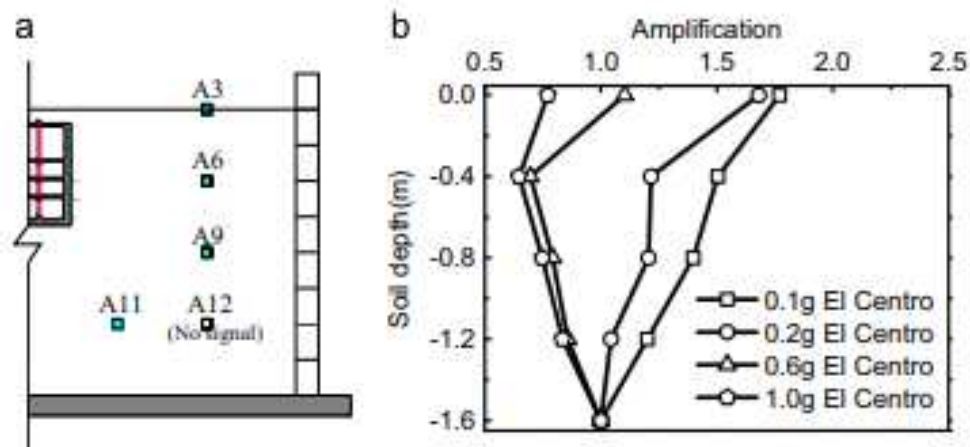


Fig. 11. Peak acceleration amplification factors of the model soil.

شکل ۱۱ - عوامل تقویت حد اکثر شتاب خاک مدل

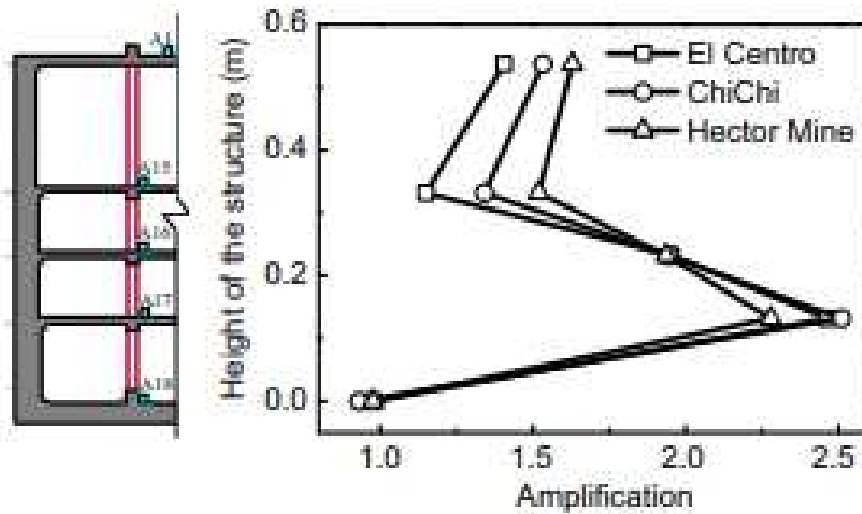
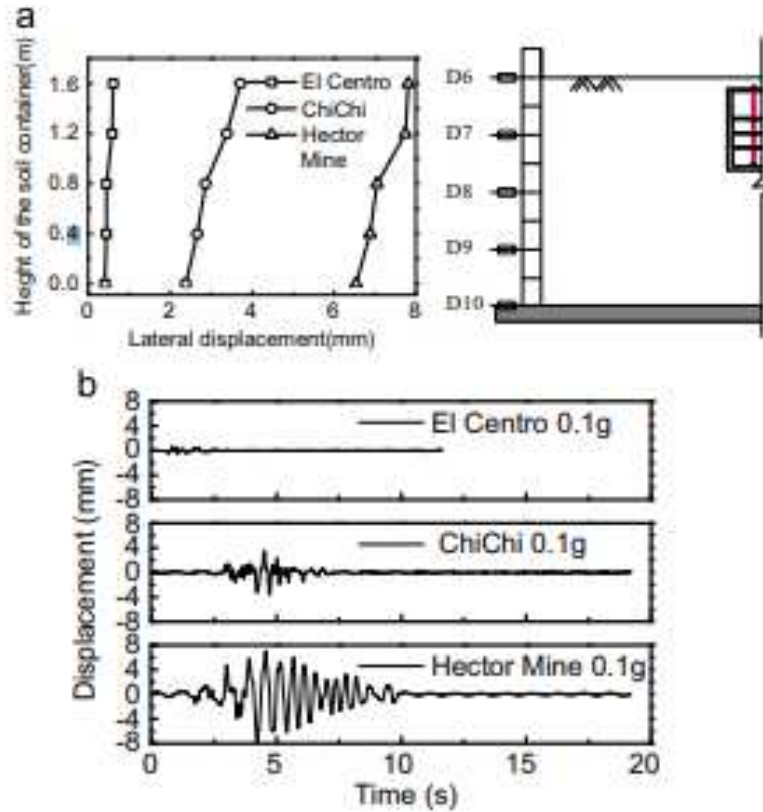


Fig. 12. Peak acceleration amplification factors of the model structure.

شکل ۱۲ - عوامل تقویت حد اکثر شتاب سازه مدل



شکل ۱۳ - جا به جایی جانبی ظرف خاک مدل تحت حرکات زمین متفاوت و ب- پیشینه زمانی جا به جایی جانبی

D6

این نتیجه گرفته می شود که تغییرات در چگالی را می توان نادیده گرفت. تحت حرکات زمین ال سنترو و چی چی، حداکثر رسوب، کمتر از ۱,۰ میلی متر است. در مورد هکتور ماین، حداکثر رسوب ۷,۸ میلی متر بود، که این رقم در قیاس با ارتفاع خاک (۱,۶ متر)، کم است. بالاخص، تاثیر حرکت قوی سطح زمین (در مورد هکتور ماین) بر روی رسوب خاک، بسیار قوی تر بود نسبت به تاثیر حرکت سطح زمین در موارد ال سنترو و چی چی. این تفاوت در ته نشینی به علت انرژی حرکات سطح زمین رخ داد. حرکت سطح زمین هکتور حامل نیرویی به مراتب عظیم تر از ال سنترو است که در ادامه با جزئیات بیشتری توضیح داده می شود.

۵ نتایج آزمون و تحلیل مربوطه

۵,۱ حالت تغییر شکل سازه مدل

نتایج ارائه شده مربوط به تغییر مکان، شتابها، و فشار های خاک به معنای نتایج دینامیک هستند. نیروهای درونی به عنوان نیروهای دینامیک و استاتیک ارائه شده اند. برای آنکه مطابق با پروژه حقیقی عمل شود، همه نتایج بدست آمده در آزمون، از مدل به الگو بر طبق عوامل مقیاس تبدیل شدند. همانطور که در شکل ۱۶ نمایش داده شده است، سازه مدل دارای یک حالت تغییر شکل شدید است. در شکل ۱۶، T نشان دهنده مدت زمان زمین لرزه است. شکل ۱۶ الف تغییر شکل آنی دیوار جانبی را هماهنگ با یک چهارم پرورد مورد ال سنتر و در زمان حداکثر شتاب $g_{0.33}$ نشان می دهد. شکل ۱۶ ب حداکثر تغییر شکل را در مورد دیوار جانبی در کل پرورد تحت موارد مختلف با حداکثر شتابهای مختلف نشان می دهد.

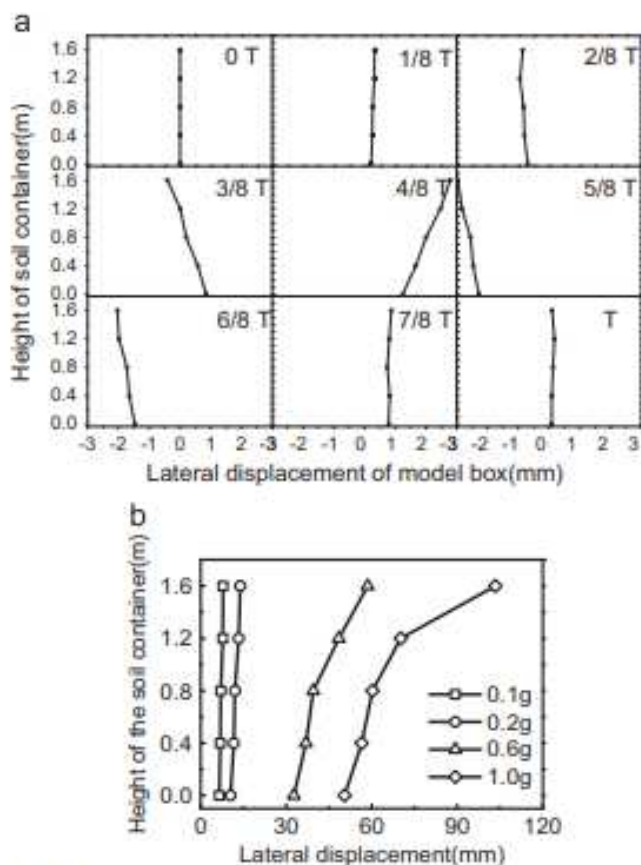
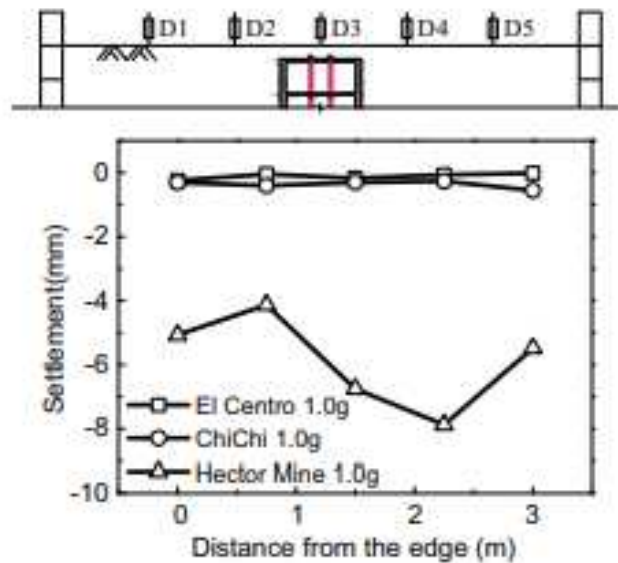


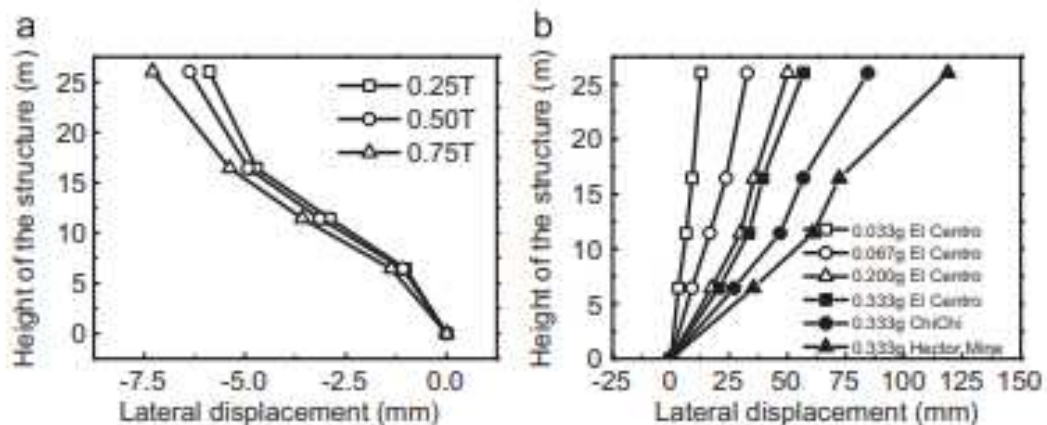
Fig. 14. Lateral displacements of the model soil container under the Hector Mine ground motion (a) in steps of one-eighth of the duration of the ground motion; (b) with different peak accelerations.



شکل ۱۵ .

مشخص شد که هر دوی تیبر شکل‌های آنی و حداکثری مربوط به دیوار جانبی، دارای یک فرم تغییر شکل مطلوبی هستند، بخصوص در زمانی که حداکثر فشار دارای مقدار کوچکی بود. در زمانی که آن در حین زمین لرزه در معرض یک اعوجاج برشی قرار گرفت، یک سازه جعبه ای مستطیل شکل تحت تغییر شکل قائمه ای شدید قرار می گیرد. (۳۷) اگرچه ایستگاه مترو چند طبقه دارای ارتفاع به نسبت بالایی بود، هنوز هم دارای یک حالت تغییر شکل شدید قابل توجه بود. علت اصلی برای این مساله، سفتی شدید ناشی از ضخامت دیوار جانبی است. چن و دیگران (۳۸) به همین نتیجه بر اساس نتایج عددی رسیدند. تغییرات شکل توسط حداکثر شتاب، افزایش یافت. با مقایسه تغییرات شکل متاثر از حرکت سطح زمین ال سنترو با تغییرات سطح زمین هکتور ماین و چی چی؛ این مساله روشن شد که تغییرات شکل مربوط به دیوار جانبی تحت حرکات سطح زمین شبیه به پالس، به طور بدیهی بزرگتر از آنهایی بودند که تحت حرکات عادی زمین رخ داد. مقایسه بین تغییرات شکل مورد چی چی با مورد هکتور ماین نشان می دهد که تاثیر شبیه به پالس می تواند به طور قابل توجهی پاسخ لرزه ای سازه حائل را افزایش دهد.

۵,۲ خصوصیات پاسخ دینامیک برای نیروی درونی ستون مرکزی



شکل ۱۶ - جا به جایی جانبی دیوار جانبی (الف) در مراحل یک چهارم مدت حرکت سطح زمین و (ب) تحت سه

حرکت سطح زمین

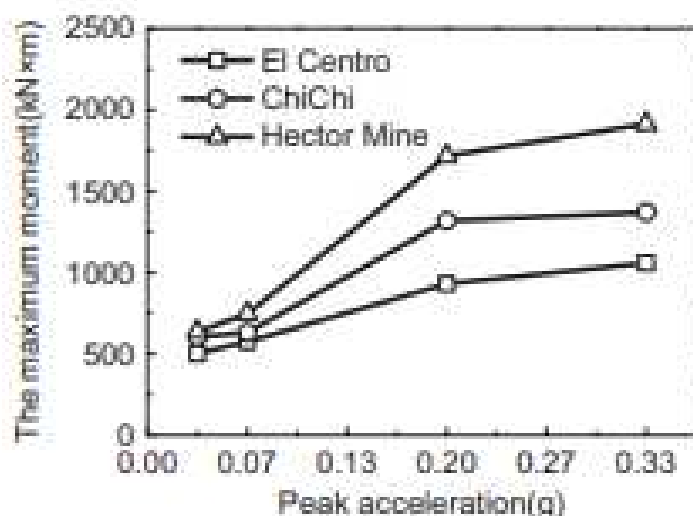


Fig. 17. Maximum moment of the top-story central column.

شکل ۱۷ رابطه بین حداکثر گشتاور ستون مرکزی طبقه بالا و حداکثر شتاب حرکات ورودی

حداکثر گشتاور ستون مرکزی در بالاترین طبقه با حداکثر شتاب افزایش میابد. حداکثر گشتاور تحت حرکات سطح زمین شبیه به پالس، به طور بدیهی از آنهایی که تحت حرکات شبیه به سطح زمین معمولی بزرگتر هستند. حداکثر گشتاور متناسب با شدت اثر شبیه به پالس افزایش میابد. علاوه بر این، اثر شبیه به پالس قابل توجه است بالاخص

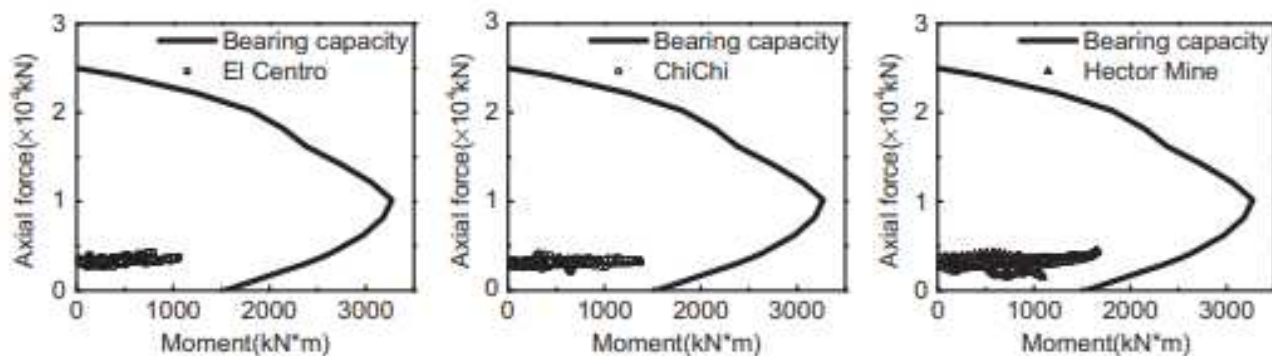
در یک زلزله بشدت مخرب. در شکل ۱۷، در زمانی که حداکثر شتاب برابر بود با $g_{0,033}$ ، حداکثر شتاب برای ستون مرکزی طبقه اول که در نتیجه حرکت سطح زمین هکتور ماین (چی چی) به وجد آمد، برابر بود با $26,44\%$ ($20,20\%$) بزرگتر از آن شتابی که در نتیجه حرکت سطح زمین ال سنترو به وجود آمد. در زمانی که حداکثر شتاب برابر بود با $g_{0,333}$ ، تفاوت رسید به رقم $80,64\%$ ($29,43\%$).

نتایج بالا تا حدود زیادی در ادامه توضیح داده خواهند شد. اول، اگر چه، موجهای لرزه ای دارای حداکثر شتاب مشابه بودند؛ حرکات سطح زمین شبیه به پالس دارای انرژی بیشتری نسبت به حرکت عادی بودند. پارامترهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفتند تا انرژی زمین لرزه را اندازه بگیرند. شدت آریاس (۳۹) یک مقیاس مهم از قدرت حرکت سطح زمین است، زیرا به صورت همزمان خصلتهای چندگانه حرکت را نشان می دهد. (۴۰) شدت آریاس، انرژی تجمیعی را برای هر واحد وزن جذب شده توسط مجموعه نامحدود نوسان گرهای درجه آزادی منفرد (۴۱) شرح می دهد. مصطفی و ایاکاوی (۴۲) از شدت آریاس بهره برند تا خصلتهای حرکات شبیه به پالس را شرح دهند.

محاسبات نشان می دهد که در زمانی که حداکثر شتاب برابر می شود با $g_{0,1}$ ، شدت آریاس برای حرکت سطح زمین ال سنترو، چی چی و هکتور ماین، به ترتیب برابر می شود با $0,146$ ، $0,773$ و $2,113$. به وضوح یک تفاوت بزرگ در مساله انرژی در میان این سه حرکت وجود دارد. دوم، حرکات سطح زمین شبیه به پالس دارای مقادیر زیادی از مولفه های با فرکانس پایین هستند در قیاس با حرکت عادی سطح زمین، همانطور که در مورد طیف فوریه برای سه حرکت سطح زمین در شکل ۹ دیده می شود. خاک ته نشین شده، سهم قابل توجهی از محتوای فرکانس بالا را می زداید و می تواند سیگنالهای با فرکانس پایین را تقویت کند. در نتیجه، در زمانی که موجهای لرزه ای از پایه تا سازه مترو منتشر می شوند، تضعیف انرژی مربوط به حرکت شبیه به پالس کمتر از مورد مربوط به حرکت عادی زمین است. بنابراین، انرژی ورودی سازه مترو به طرز قابل توجهی متفاوت است. سهم بزرگی از انرژی حرکت عادی توسط خاک پراکنده می شود.

برای ارزیابی کردن ایستگاه مترو، تحت سختی ها و شدت های مختلف و انواع حرکات سطح زمین، ستون مرکزی بالاترین طبقه به عنوان یک شیء نظاره شده به دو علت انتخاب می شود. اول، ارتفاع بالای بالاترین طبقه،

به این علت است سفتی جانبی در مورد بالاترین طبقه، نسبت به بقیه طبقات بسیار کمتر است. دوم، اگرچه نیروی محوری ستون پایین ترین طبقه، بیشترین مقدار را دارد، اندازه ستون بالاترین طبقه به طور نسبی کوچک است و بنابراین، ظرفیت تحمل نیز به نسبت کم است. پیشینه زمانی گشتاور نیروی محوری با حداکثر شتاب $g_{0,333}$ از مدل به نمونه اولیه تبدیل می شود و منحنی های ظرفیت تحمل گشتاور نیروی محوری محاسبه شده برای نمونه اولیه در شکل ۱۸ نمایش داده شده اند. با حداکثر شتاب مشابه، حرکت هکتور ماین، که دنبال می شود با حرکت چی و سپس نیز با حرکت ال سنترو، دارای بیشترین تاثیر بر روی گشتاور است. سازه نمونه اولیه از بتون مسلح ساخته شده است (مواد الاستو-پلاستیک) در خالیکه سازه مدل از شیشه ارگانیک ساخته شده است. (مواد الاستیک) هر چند، از نقطه نظر نیروهای درونی دینامیک، تمرکز تنش برای سازه نمونه اولیه ممکن است بر توزیع نیروهای درونی تاثیر بگذارد و بنابراین منجر به نیروهای بالاتری در برخی از قسمتها در قیاس با پاسخ های الاستیک بشود. علاوه براین، غیر خطی بودن خاکها و رابطی که تاثیر می پذیرد از انعطاف پذیری سازه هم می تواند نیروهای درونی الاستیک را در مورد ستونهای مرکزی تغییر دهد (۴۳). علاوه براین، پیتیلایکیس و سینیدیس (۴۴) به این اشاره کردند که روشهای مبتنی بر جا به جایی، به فیزیک مساله نزدیک تر بودند و چندین مزیت را نشان دادند که شامل ارزیابی صحیح از پاسخ الاستیک از اجزای سازه ای می شد. در نتیجه، استفاده از تغییر شکلها برای شرح عملکرد ستونها عاقلانه تر است و نیز به ما ذات حرکتی را نشان می دهد.



شکل ۱۸ - منحنی های ظرفیت تحمل و پیشینه زمانی گشتاور- نیروی محوری برای ستون مرکزی بالاترین طبقه

با حداکثر شتاب $g_{0,333}$

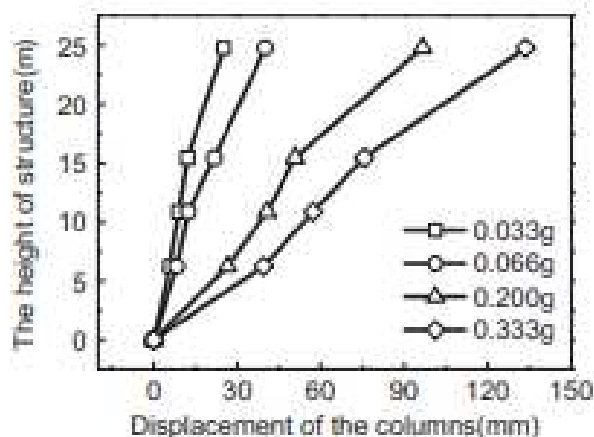
علاوه براین، با توجه به تاثیرات حرکات بر روی نیروی محوری، تعداد تفاوت‌های کمی بین حرکت‌های شبیه به پالس و حرکات عادی وجود دارد. همانطور که در شکل ۱۸ نشان داده شد، حداکثر نیروهای محوری برای ستون مرکزی بالاترین طبقه، تحت حرکات سطح زمین ال سنترو، چی چی و هکتور ماین به ترتیب برابر بود با ۴۳۳۰، ۴۱۶۰ و KN۴۳۹۰. علاوه بر این، نتیجه قابل انتقال است به ستونهای پایین‌ترین طبقه. این نکته مشخص شد که تحت دو شرایط شدید (حرکت سطح زمین ال سنترو ۰,۳۳g ، و حرکت سطح زمین هکتور ماین 0.333g) فقط یک تفاوت 401 kn (۱,۲ درصد) در نسبت فشار محوری وجود داشت. به بیان دیگر، حرکت شبیه به پالس وارد شده افقی ، لرزه عمودی بر ستون مرکزی وارد نمی‌کند.

۵,۳ خصلتهای پاسخ دینامیک مربوط به جابه‌جایی ستون مرکزی

راندگی ستون در هر طبقه تحت حرکت سطح زمین چی چی با حداکثر شتابهای متفاوت در شکل ۱۹ نشان داده شده است. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با شبیه‌سازی که در شکل دیده می‌شود: ۱- رانش به تناسب با حداکثر شیب افزایش می‌یابد. ۲- به غیر از مورد دارای ۰,۰۶۶g ، رانش ستون در مورد بالاترین طبقه و پایین‌ترین طبقه، بیشتر و بزرگتر از طبقات میانی بود. به عنوان مثال، در زمانی که حداکثر شتاب برابر بود با ۰,۳۳۳g ، رانش ستون برای بالاترین طبقه، ۳۷,۶۸٪ بیشتر از طبقه دوم بود. مقدار سفتی جانبی ستونها در بالاترین طبقه و دومین طبقه به ترتیب برابر بود با $4.71 \cdot 10^6$ و $6.07 \cdot 10^7$ N/m. افزایش ارتفاع به وضوح سفتی جانبی را کاهش می‌دهد و بنابراین رانش ستون را افزایش می‌دهد.

همانطور که در قسمت قبلی توضیح داده شد، از نقطه نظر نیروهای درونی، ستونهای مرکزی به نظر ایمن‌تر می‌آیند وقتی که تحت حرکات سطح زمین در موارد زمین لرزه مورد نظر قرار می‌گیرند. اما این مساله، اثر تمرکز تنش و آثاری از این قبیل را در نظر نمی‌گیرد. از منظر طراحی مبتنی بر عملکرد، تغییر شکل ، یک شاخص مناسب‌تر است نسبت به نیرو، که می‌توان با آن عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مترو را ارزیابی کرد. در ارزیابی روابط مابین اثر شبیه به پالس و رانش ستون، ستون مرکزی بالاترین طبقه، به علت ارتفاع بالایش انتخاب شد. شکل ۲۰ رابطه مابین رانش ستون و حداکثر شتاب را نشان می‌دهد. اختلافات رانش ستون به طور اصلی مانند همان اختلافات و دگرگونی

های گشتاور بود: ۱- رانش ستون در بالاترین طبقه به تناسب با حداکثر شتاب افزایش میابد. ۲- رانش ستون تحت حرکت شبیه به پالس زمین به وضوح بزرگتر از آن در زمانی بود که تحت نیروهای عادی سطح زمین است و متناسب با افزایش اثر شبیه به پالس افزایش میافت. ۳- چنین افزایشی در هنگام بزرگتر بودن حداکثر شتاب، بیشتر بود. به این معنا که زمین لرزه رخ داده بزرگتر بود.



شکل ۱۹ - جا به جایی جانبی ستونها در هر طبقه تحت حرکت سطح زمین چی چی

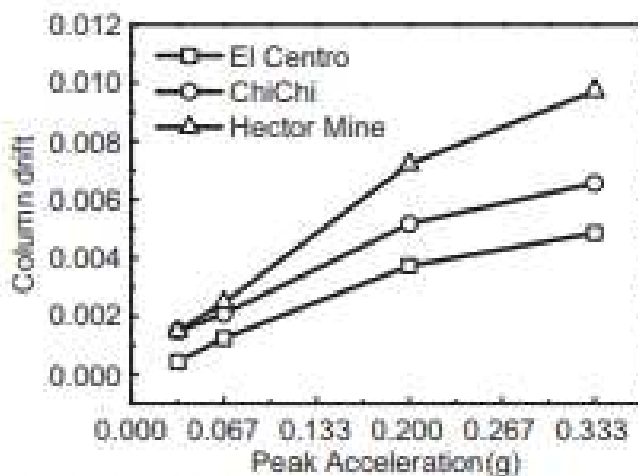


Fig. 20. Column drifts of the top-story central column.

شکل ۲۰ رانش ستون در مورد ستون مرکزی بالاترین طبقه

جدول ۵ - رانش ستون در مورد ستون مرکزی بالاترین طبقه

رانش ستون ستون مرکزی هکتور ماین	رانش ستون ستون مرکزی چی چی	رانش ستون ستون مرکزی ال سنترو	حداکثر شتاب سازه نمونه اولیه	حداکثر شتاب سازه مدل
1.677	1.677	1.2278	0.033 g	0.1 g
1.404	1.482	1.797	0.066 g	0.2 g
1.138	1.193	1.268	0.200 g	0.6 g
1.103	1.153	1.206	0.333 g	1.0 g

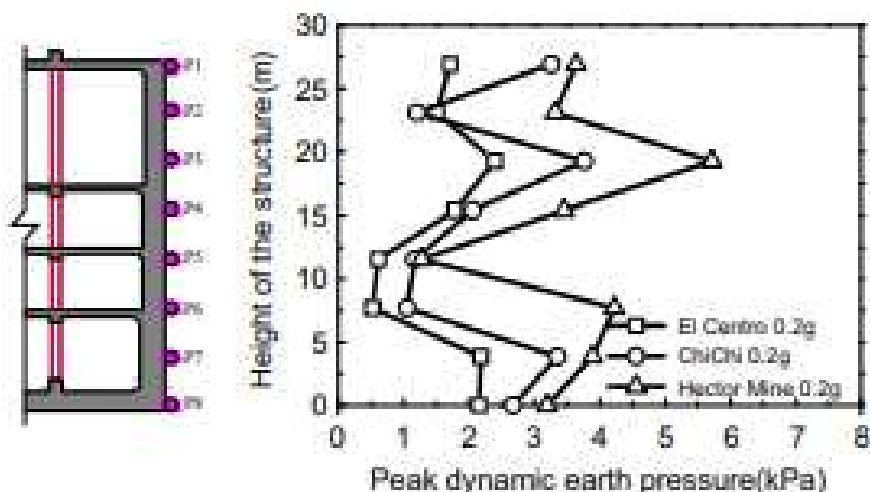


Fig. 21. Distribution of the peak dynamic soil pressure on the side wall.

شکل ۲۱ - توزیع حداکثر فشار دینامیک خاک بر روی دیوار جانبی

همانطور که در قسمت قبلی توضیح داده شد، از نقطه نظر نیروهای درونی، ستونهای مرکزی تحت حرکات سطح زمین در مورد زمین لرزه های مورد نظر، ایمن تر بودند. این مساله به طور کامل در توافق با دیدگاه تغییر شکل نیست. جدول ۵، رانش ستون در بالاترین طبقه را تحت سه حرکت با حداکثر شتابهای مختلف نشان می دهد. در زمانی که حداکثر شتاب نمونه اولیه برابر بود با $0.2g$ (زمین لرزه اصلی)، رانش ستون کوچکتر از $1,200$ بود. علاوه براین، در زمانی که حداکثر شتاب برابر بود با $0.333g$ ، رانش ستون به مقدار $1,103$ تحت حرکت سطح زمین هکتور ماین رسید. این بسیار مهم است که به این مساله توجه داشته باشیم، به علت آنکه سازه مدل الاستیک است رانش ستون اندازه گیری شده، کوچکتر از زمان شرایط حقیقی بود. از این رو، رانش ستون، به جای نیروی درونی شایسته توجه و بهبود است.

۵,۴ توزیع فشار دینامیک زمین

شکل ۲۱ به ما حداکثر فشار دینامیک زمین را بر روی سازه مدل نشان دهد. فشار دینامیک زمین با تفریق فشار الاستیک زمین از کل فشار زمین، محاسبه شد. این مساله مشاهده شده، که فشار دینامیک زمین تحت حرکت شبیه به پالس، بیشتر از زمانی بود که تحت حرکت عادی بود. هر چند، توزیع فشار دینامیک زمین، واضح نبود و متفاوت بود از فشار دینامیک زمین بر روی یک سازه متروی تک-دو طبقه و یا دو طبقه (۴۶ و ۴۵ و ۲۷) علاوه بر این، حالت توزیع به شکل S دارای ناسازگاری با فشاری است که با تغییر شکل شدید حادث می شود. پدیده غیر خطی خاکها و سازه خاک رابط، در طی تکان خوردن، به خصوص در شدتهای بالاتر، ممکن است فشار دینامیک زمین را تاثیر بگذارد. علاوه بر این، فشارهای زمین ثبت شده ممکن است تا حدودی توسط پاسخ سلولهای فشار زمین تعیین شوند. سینسیدیس و همکاران (۴۷) هم چنین بیان کردند که سفتی نسبی صفحه سنجش ممکن است بر روی آمادگی سلولهای فشار زمین اثر بگذارد. و در حالت خاک بدون چسبندگی خشک، پاسخهای فشار سنج می تواند کاملا گمراه کننده باشد به علت اثر اندازه دانه ها و از این قبیل.

۶ - نتیجه گیری

آزمونهای لرزش میز مورد استفاده قرار گرفتند بدین منظور که تاثیر حرکات شبیه به پالس سطح زمین بر روی ایستگاه چند طبقه مدرن مترو، مورد تحقیق قرار بگیرد. نتایج پیش رو از این تحقیق، بدست آمده اند.

۱ - به علت قدرت مولفه های فرکانس پایین و انرژی بالا، حرکات سطح زمین شبیه به پالس، نسبت به حرکت عادی، دارای تاثیر دینامیک بسیار بالاتری بر روی سازه های مترو و خاک محیط اطراف بودند، که این مساله با توجه به نیروهای درونی و رانش ستون مرکزی و تغییر شکل خاک و دیوار جانبی بود.

۲- ایستگاه مترو چند طبقه در یک حالت تغییر شکل شدید، عمل می کند.

۳ - ستونهای مرکزی به خصوص ستونهای دارای ارتفاع بالا، مواردی هستند که در مقابل حرکت سطح زمین آسیب پذیر هستند و کاهش سفتی جانبی بوجود آمده توسط ارتفاع طبقه، باعث افزایش قابل توجه رانش ستون می شود. این امکان وجود دارد که ستون از گاسخ دینامیک بزرگتری تحت حرکت شبیه به پالس سطح زمین، آسیب ببیند

نسبت به موقعی که تحت حرکت عادی سطح زمین است. در زمانی که حداکثر شتاب برای حرکت ورودی برابر است با $g_{1,0}$ ، حداکثر شتاب بالاترین طبقه و رانش تحت حرکت قوی شبیه به پالس زمین به ترتیب برابر هستند با ۰.۸۱٪ و ۱.۰۰٪. بیشتر از موارد تحت حرکت عادی سطح زمین.

قدردانی

این تحقیق توسط آزمایشگاه کلیدی دولت، برای کاهش سوانح مهندسی سازه (SLDRCE14-B-11) بنیاد ملی علوم طبیعی چین (شماره اختصاص 51278524 و شماره اختصاص 41472246) و برنامه نوآوری کمیسیون آموزش شهرداری شانگهای (14ZZ034) حمایت شد. برنامه تجربی انجام شده در این تحقیق قابل انجام نبود اگر که یاری قابل توجه لو ونشنگ و ژائو بین از آزمایشگاه کلیدی دولت نبود. از همه حمایتها، حق شناسانه تشکر می کنیم.

References

- [1] Wang W, Zhao GG. 71 m! "The Iron Giant" sets new record on "the Shanghai depth". Wen Hui Bao Newspaper; 2013. 09:1. [In Chinese].
- [2] Tamari V, Towhata I. Seismic soil-structure interaction of cross sections of flexible underground structures subjected to soil liquefaction. *Soils Found* 2003;43(2):69-87.
- [3] Kutter BL, Chou JC, Travararou T. Centrifuge testing of the seismic performance of a submerged cut-and-cover tunnel in liquefiable soil. In: Proceedings of the geotechnical earthquake engineering and soil dynamics IV congress (GSP); 2008. 181.
- [4] Chen GX, Wang ZH, Zuo X, Du XL, Gao HM. Shaking table test on the seismic failure characteristics of a subway station structure on liquefiable ground. *Earthq Eng Struct Dyn* 2013;42(10):1489-507. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.2283>.
- [5] Moss RES, Crossariol VA. Scale model shake table testing of an underground tunnel cross section in soft clay. *Earthq Spectra* 2013;29(4):1413-40. <http://dx.doi.org/10.1193/070611EQS162M>.
- [6] Kagawa T, Sato M, Minowa C, Abe A, Tazoh T. Centrifuge simulations of large-scale shaking table tests: case studies. *J Geotech Geoenviron Eng* 2004;130(7):663-72.
- [7] Kamata H, Mashimo H. Centrifuge model test of tunnel face reinforcement by bolting[J]. *Tunn Undergr Space Technol* 2003;18(2):205-12.
- [8] Pylalakis D, Dietz M, Wood DM, Clouteau D, Modaresi A. Numerical simulation of dynamic soil-structure interaction in shaking table testing. *Soil Dyn Earthq Eng* 2008;28(6):453-67.
- [9] Chen GX, Chen S, Zuo X, Du XL, Qi CZ, Wang ZH. Shaking-table tests and numerical simulations on a subway structure in soft soil. *Soil Dyn Earthq Eng* 2015;76:13-28.
- [10] Chen J, Shi X, Li J. Shaking table test of utility tunnel under non-uniform earthquake wave excitation. *Soil Dyn Earthq Eng* 2010;30(11):1400-16.
- [11] Loh CH, Wan S, Liao WL. Effects of hysteretic model on seismic demands: consideration of near-fault ground motions. *Struct Des Tall Build* 2002;11(3):155-69. <http://dx.doi.org/10.1002/tal.182>.
- [12] Somerville P, Graves R. Conditions that give rise to unusually large long period ground motions. *Struct Des Tall Build* 1993;2(3):211-12.

- [13] Wen WP, Zhai CH, Li S, Chang ZW, Xie LL. Constant damage inelastic displacement ratios for the near-fault pulse-like ground motions. *Eng Struct* 2014;59:599–607. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.11.011>.
- [14] Bertero VV, Mahin SA, Herrera RA. Aseismic design implications of near-fault San Fernando earthquake records. *Earthq Eng Struct Dyn* 1978;6(1):31–42.
- [15] Anderson JC, Bertero VV. Uncertainties in establishing design earthquakes. *J Struct Eng* 1987;113(8):1709–24.
- [16] Makris N, Black CJ. Evaluation of peak ground velocity as a “good” intensity measure for near-source ground motions. *J Eng Mech* 2004;130(9):1032–44. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2004\)130:9\(1032\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:9(1032)).
- [17] Sehhati R, Rodriguez-Marek A, ElGawady M, Cofer WF. Effects of near-fault ground motions and equivalent pulses on multi-story structures. *Eng Struct* 2011;33(3):767–79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.11.032>.
- [18] Makris N, Chang SP. Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures. *Earthq Eng Struct Dyn* 2000;29(1):85–107.
- [19] Jangid R, Kelly JM. Base isolation for near-fault motions. *Earthq Eng Struct Dyn* 2001;30(5):691–707. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.11>.
- [20] Hall JF, Heaton TH, Halling MW, Wald DJ. Near-source ground motion and its effects on flexible buildings. *Earthq Spectra* 1995;11(4):569–605.
- [21] Ismail M, Casas JR. Novel isolation device for protection of cable-stayed bridges against near-fault earthquakes. *J Bridge Eng* 2014;19(8). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE-1943-5592.0000509](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)BE-1943-5592.0000509).
- [22] Phan V, Saidi MS, Anderson J, Ghasemi H. Near-fault ground motion effects on reinforced concrete bridge columns. *J Struct Eng* 2007;133(7):982–9. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2007\)133:7\(982\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:7(982)).
- [23] Chen ZY, Wei JS. Correlation between ground motion parameters and lining damage indices for mountain tunnels. *Nat Hazards* 2013;65(3):1683–702. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-012-0437-5>.
- [24] Lu XL, Li PZ, Chen YQ, Chen B. Chen Shaking table model testing on dynamic soil-structure interaction system. In: *Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering*; 2004. p. 1–16.
- [25] GB50010. Code for design of concrete structure. Beijing: China Architecture & Building Press; 2010.
- [26] Moncarz PD. Krawinkler H. Theory and application of experimental model analysis in earthquake engineering. Report No. 50. Stanford, CA: Dept. of Civil Engineering and Environmental Engineering, Stanford University; 1981.
- [27] Yang LD, Yang C, Ji QQ, Zheng VL. Shaking table test and numerical calculation on subway station structures in soft soil. *J Tongji Univ* 2003;31(10):1135–40.
- [28] Lin C, Zhu T, Lin B. Similarity technique for dynamic structural model test. *J Dalian Univ Technol* 2000;40(1):1–8.
- [29] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). PEER strong motion database. Berkeley: University of California; 2000.
- [30] Baker JW. Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. *Bull Seism Soc Am* 2007;97(5):1486–501. <http://dx.doi.org/10.1785/0120060255>.
- [31] Shahi SK, Baker JW. An empirically calibrated framework for including the effects of near-fault directivity in probabilistic seismic hazard analysis. *Bull Seism Soc Am* 2011;101(2):742–55. <http://dx.doi.org/10.1785/0120100090>.
- [32] Bray JD, Rodriguez-Marek A. Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dyn Earthq Eng* 2004;24(11):815–28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.05.001>.
- [33] Huang Y, Ye WM, Chen ZC. Seismic response analysis of the deep saturated soil deposits in Shanghai. *Environ Geol* 2009;56(6):1163–9. <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-008-1216-1>.
- [34] Zeghal M, Elgarnal AW, Tang HT, Stepp JC. Logging downhole array. II: evaluation of soil nonlinear properties. *J Geotech Eng* 1995;121(4):363–78.
- [35] Brennan AJ, Thuyanthan NI, Madabhushi SPG. Evaluation of shear modulus and damping in dynamic centrifuge tests. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE* 131; 2005. p. 1488–97.
- [36] Meymand P. Shaking table scale model test of nonlinear soil-pile-superstructure interaction in soft clay [PhD dissertation]. Berkeley: University of California; 1998.
- [37] Hashash YMA, Hook JJ, Schmidt B, Yao JIC. Seismic design and analysis of underground structures. *Tunn Undergr Space Technol* 2001;16(4):247–93. [http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00051-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7).
- [38] Chen ZY, Chen W, Zhang W, Zhang Seismic performance evaluation of multi-story subway structure based on pushover analysis. *Advances in Soil Dynamics and Foundation Engineering (ASCE)*; 2014. p. 444–54.
- [39] Arias A. Measure of earthquake intensity. Massachusetts Inst. of Tech., Cambridge. Univ. of Chile, Santiago de Chile; 1970.
- [40] Stafford P, Berrill J, Pettinga J. New predictive equations for Arias intensity from crustal earthquakes in New Zealand. *J Seism* 2009;13(1):31–52. <http://dx.doi.org/10.1007/s10950-008-9114-2>.
- [41] Trassarou J, Bray JD, Ahrhamsen NA. Empirical attenuation relationship for Arias intensity. *Earthq Eng Struct Dyn* 2003;32(7):1133–55. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.270>.
- [42] Moustafa A, Takewaki I. Deterministic and probabilistic representation of near-field pulse-like ground motion. *Soil Dyn Earthq Eng* 2010;30(5):412–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2009.12.013>.
- [43] Lanzano G, Bilotta E, Russo G, Silvestri F, Madabhushi SPG. Centrifuge modeling of seismic loading on tunnels in sand. *Geotech Test J* 2012;35(6):854–69.
- [44] Pitsilakis K, Tsiondis G. Performance and seismic design of underground structures. *Earthq Geotech Eng Des* 2014;28:279–340 *Geotechnical Geological and Earthquake Engineering*, Springer.

- [45] Zhai E, Davis CA, Yan LP, Hu JP. Numerical simulations of geotechnical centrifuge modeling of seismic earth pressures on an underground restrained structure. International efforts in lifeline earthquake engineering. In: Proceedings of the 6th China-Japan-US trilateral symposium on lifeline earthquake engineering; 2014. p. 369-76. DOI: 10.1061/9780784413234.048.
- [46] Jiang LZ, Chen J, Li J. Seismic response of underground utility tunnels: shaking table testing and FEM analysis. Earthq Eng Eng Vib 2010;9(4):555-67.

- [47] Tsiridis G, Pitilakis K, Madabhushi G, Heron C. Dynamic response of flexible square tunnels: centrifuge testing and validation of existing design methodologies. Geotechnique 2015;65:401-17.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی